

Schwungradreibschweißen – Erhöhung der Fertigungsqualität

Die Forderung der Luftfahrtindustrie die Energieeffizienz in Flugtriebwerken stetig zu verbessern, führt zu dem Trend, verschiedene Werkstoffe in einem Antriebsstrang miteinander zu kombinieren. Vor diesem Hintergrund gewinnt das Reibschweißen immer mehr an Bedeutung, da hier die Möglichkeit besteht, in weiten Grenzen unterschiedliche Werkstoffe miteinander stoffschlüssig zu verbinden. Um diese Fertigungstechnik hinsichtlich technologischer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte zu optimieren, bedarf es eines besseren Prozessverständnisses sowie auf Anlagenseite einiger zusätzlicher prozessbeeinflussender Einstell- und Regelmöglichkeiten. Mit entsprechenden Maßnahmen soll es ermöglicht werden, die Nebenzeiten zu reduzieren, die Anzahl der Vorversuche zu verringern und insbesondere die Fertigungsgenauigkeit zu erhöhen.

Das *iwb* widmet sich seit Jahren dieser Herausforderung. Zur Erreichung dieser hoch gesteckten Ziele werden die Untersuchungen in einzelne Teilbereiche untergliedert. Es wird im Folgenden unterschieden zwischen Vermessung der Bauteilgröße, Bauteiljustierung sowie Prozessregelung. Für die Prozessregelung bedarf es einer genauen Prozessbeschreibung sowie der Unterscheidung zwischen der Stauchwegregulierung und der Drehlagenregulierung. Im Rahmen eines von der bayerischen Forschungsstiftung geförderten Projektes konnten bereits in Zusammenarbeit mit MTU Aero Engines und KUKA einige Teilschritte umgesetzt werden.

Steigende Anforderungen an die Fertigungstechnik

Beim Fügen einzelner Triebwerkstufen war es bislang üblich, ein Fertigteil mit einem Rohteil zu verschweißen. Durch nachträgliche Bearbeitung des ursprünglichen Rohteils ist es möglich, die bestehenden Fertigungstoleranzen des Reibschweißprozesses auszugleichen.

Die Forderungen der Luftfahrtindustrie nach immer leistungsfähigeren und gleichzeitig gewichtsreduzierten Triebwerken führen zu dem Trend, hoch integrierte Leichtbaurotoren einzusetzen. Da an derart komplexen Strukturen keine Nachbearbeitung mehr möglich ist, müssen die aktuellen Fertigungsgenauigkeiten soweit gesteigert werden, dass zwei Fertigteile miteinander verschweißt werden können.

Eine Grundvoraussetzung für das Einhalten sehr enger Fertigungstoleranzen ist die exakte Justierung der Bauteile zueinander vor Prozessbeginn. Bislang erfolgte dieser Vorgang manuell. Die Position der eingespannten Bauteile wurde mit Hilfe von Messuhren überprüft. Gegebenfalls müssen diese neu justiert werden. Um diesen Ausrichtvorgang grundlegend zu verbessern, wurde im Rahmen dieses Forschungspro-

jektes eine automatisierte Justageeinheit entwickelt. Diese besteht aus einer hoch genauen Messeinrichtung und einer präzisen Justiervorrichtung.

Entwicklung eines innovativen Messkonzeptes

Die zu entwickelnde Messeinrichtung soll den Rund- und Planlauf der Bauteile zueinander messen. Aus diesen Daten wird die relative Lage der Werkstücke zueinander bestimmt. Liegen Ausrichtfehler vor, wird die Lage der Bauteile mit einer Justagevorrichtung entsprechend korrigiert. Bei dieser Messapparatur kommen Lasertriangulationssensoren zum Einsatz. Für jedes Bauteil werden zwei Lasersensoren verwendet, die jeweils auf die Stirnseite und den Außendurchmesser der Schweißlippe ausgerichtet sind.

In Zusammenarbeit mit der Firma KUKA Systems GmbH wurde am *iwb* eine automatisierte Vorrichtung konzipiert, die auf dieses Messprinzip abgestimmt ist. Erforderlich ist eine Kinematik, die die Messeinheit an den Einsatzort bringt, während des Messvorganges die Sensoren ausreichend genau auf ihrer Messbahn führt und anschließend wieder sicher innerhalb der Anlage verstaut. Zur Realisierung dieser Anforderungen dient als Grundelement ein Schlitten, der in Richtung der Spindelachse verfahrbar ist, um so die Sensorik zwischen den eingespannten Bauteilen positionieren zu können. Ein daran montierter Schwenkarm, an dessen Ende sich ein weiterer Dreharm befindet, wird so in den Arbeitsraum eingeschwenkt, dass sich die Drehachse des Armes in einer Flucht mit der Spindelachse der Maschine befindet. Auf dem Dreharm befinden sich die Sensoren, sodass durch eine Rotation die Bauteile auf einer Kreisbahn geführt werden. Um verschiedene Bauteildurchmesser erfassen zu können, sind die Sensoren auf einem Träger befestigt, der sich entsprechend des benötigten Bauteilradius auf dem Dreharm verschieben lässt.

Abbildung 2 zeigt den Sensorschwenkarm, der am *iwb* konzipiert, gefertigt, montiert und in Betrieb genommen wurde.

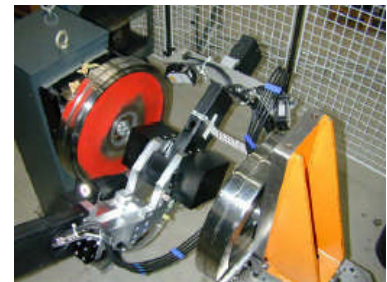


Abbildung 1: Sensorschwenkarm im Versuchsaufbau

Auf Basis der von dieser Messeinrichtung aufgenommenen Daten werden die vorhandenen Ausrichtfehler durch die Fluchtjustage automatisch korrigiert.

Einsatz einer hochpräzisen Bauteiljustage

Die Fluchtjustageeinheit soll das auf der statischen Seite gespannte Bauteil zum Bauteil der rotierenden Seite ausrichten. In breit angelegten Grundlagenuntersuchungen wurden verschiedene Lösungen erarbeitet und miteinander verglichen. Eine Herausforderung war es, verschiedene zum Teil konkurrierende Anforderungen miteinander in Einklang zu bringen. Insbesondere der Zielkonflikt zwischen der erforderlichen Steifigkeit, um trotz der extrem hohen Prozesskräfte noch die erforderlichen Genauigkeiten zu gewährleisten, und der maximal erlaubten Masse erforderten eingehende Untersuchungen.

Zum Einsatz kommt ein Konzept mit beweglicher Schale, wie es in Abbildung 2 schematisch dargestellt ist.

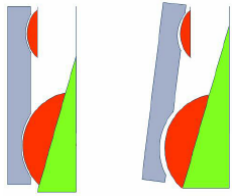


Abbildung 2: Prinzip der Justagevorrichtung

Hierbei wird durch ein Zusammenspiel zwischen Keilen und halbrunden Schalenelementen ein präzises Positionieren der Bauteile möglich. Die Keilelemente, die durch Stellmotoren verschoben werden, verursachen über die Schalenelemente ein Verdrehen der Grundplatte. Das Bauteil, das mit seiner Spannvorrichtung in dieser Platte verankert ist, kann so präzise justiert werden. Abbildung 3 zeigt die Fluchtjustage im montierten Zustand. Um die Inbetriebnahme an der realen Anlage deutlich zu verkürzen und Fehler zu reduzieren, erfolgte zunächst eine virtuelle Inbetriebnahme anhand eines Simulationsmodells.

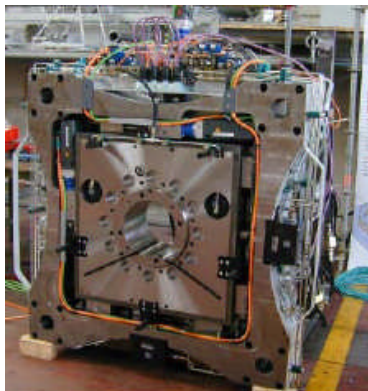


Abbildung 3: Montierte Fluchtjustage

Messungen zeigten, dass die im Pflichtenheft festgelegten Anforderungen an die Justiereinrichtung, die Rund- und Planlauf toleranzen der Bauteile zueinander von kleiner 0,01 mm einzuhalten, erfüllt und teilweise sogar übertroffen werden konnten.

Um hierüber hinaus weiteres Optimierungspotenzial beim Schwingradreibschweißen zu erschließen, wurde am *iwb* in Kooperation mit der Firma MTU Aero Engines GmbH ein weiteres von der Bayerischen Forschungsförderung gefördertes Forschungsprojekt begonnen. Insbesondere durch eingehende Versuchsreihen an einem neuen Reibschweißprüfstand sollen neue Erkenntnisse gewonnen werden.

Aufbau eines Schwingradreibschweißprüfstandes

Um den Prozess genauer zu untersuchen und speziell die Möglichkeiten zur Regelung der Drehlage und der Bauteillänge infolge der Stauchwegbeeinflussung experimentell zu betrachten, wird aktuell in diesem Folgeprojekt am *iwb* ein Prüfstand aufgebaut. Bei ersten Schweißversuchen hat sich gezeigt, dass die hohen Kosten sowie der große Zeitaufwand für die Instrumentierung der Bauteile eine feste Installation der Messtechnik erfordern. Zusätzlich kann die Regelung der Drehlage derzeit nur im Kleinen untersucht werden, da eine Dimensionierung dieser Einrichtung für eine Produktionsanlage noch nicht abgeschätzt werden kann.

Folglich wurde ein Prüfstand geplant, der den hohen messtechnischen Anforderungen gerecht wird und mit dem zugleich die Regeleinrichtungen getestet werden können (Abbildung 4). Um den Werkstoffeinfluss und die geometrischen Abhängigkeiten prüfen zu können, wurde die Anlage für Stahlbauteile mit einem Durchmesser von 70 bis 180 mm und für Inconelbauteile mit Durchmessern zwischen 50 und 120 mm ausgelegt.

delwelle befestigt, um möglichst nah am Prozess die Bewegung abzugreifen. Mit einem zusätzlichen Drehgeber am Ende des Schwingmassenstrangs kann die Torsion sowie die Rückfederung der Welle erfasst werden.

Um den Regelparameter durch eine Simulation möglichst exakt zu bestimmen, wurde neben einer Modalanalyse der gesamten Anlage auch ein Finite-Elemente-Modell erstellt. Auf dieser Basis soll die Strukturprozess-Wechselwirkung ermittelt werden und somit die Reglerauslegung für den Stauchweg und die Drehlage optimiert werden. Um diese Wechselwirkung genau zu bestimmen, wird mit den ermittelten Versuchsdaten ein Prozessmodell erstellt, welches die Simulation des Prozessverhaltens ermöglicht.

Diese Ergebnisse werden dazu beitragen, die Reibschweißprozesse optimal auszulegen und so sowohl die Fertigungsgenauigkeiten als auch die Schweißqualitäten weiter zu verbessern.

Marc Lotz, Axel Pöhler

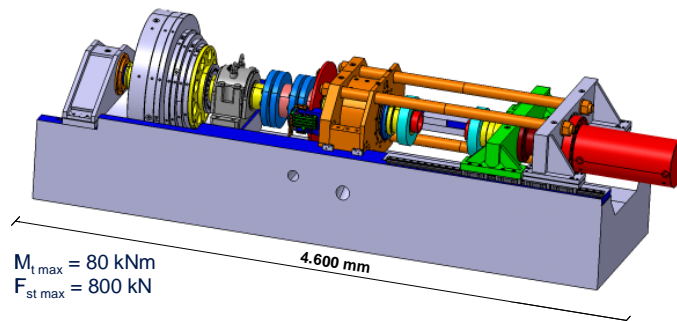


Abbildung 4: Reibschweißprüfstand am *iwb* – im Aufbau

Um die Messwerte möglichst exakt zu erfassen, wird das Dreh-/Reibmoment am ruhenden Bauteil mit einem eigens für diesen Zweck entwickelten Drehmomentmessflansch abgegriffen. In den Kraftfluss der Stauchachse wurde ein ähnlicher Flansch eingebaut, wobei die zugehörigen Dehnmessstreifen zur Erfassung der axialen Stauchkraft ausgerichtet sind. Häufig wird bei der Drehzahlmessung auf einen motoreigenen Drehgeber zurückgegriffen, was dazu führt, dass Messungenauigkeiten nicht zu vermeiden sind. Um diesem Problem zu begegnen, wurde an diesem Aufbau ein Drehgeber direkt auf der Spin-